

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА

Савченко П.Г., Выхристюк М.Н.

Научный руководитель – профессор Скуратов А.П.  
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В последние годы развитие отечественной теплоэнергетики все в большей мере сдерживается экологическими факторами, в частности наличием в отходящих газах тепловых электрических станций (ТЭС) оксидов азота и серы, которые вызывают кислотные дожди, негативно воздействующие на окружающую среду. Экологические соображения ограничивают не только работу отдельных энергоустановок, но определяют также суммарную допустимую мощность сооружаемых ТЭС и возможность их размещения в намеченных местах. Таким образом, возникает необходимость поиска путей для снижения выбросов оксидов азота в окружающую среду. В настоящее время существует несколько методов снижения окислов азота:

1) Влияние качества топлива. Уголь, как правило, содержит значительное количество связанного азота: от 0,5 до 3,5 % на горючую массу. В мазуте содержание азота в 5–10 раз ниже (в расчете на единицу теплоты сгорания), в природном газе – вообще отсутствует. При исследовании механизма образования оксидов азота в лабораторных условиях было доказано, что концентрация  $NO_x$  в дымовых газах линейно зависит от содержания азота в топливе (при одинаковых условиях процесса горения).

2) Способы, основанные на снижении температуры. Для эффективного сжигания твердого топлива необходимы высокие температуры в топочной камере. Это обстоятельство затрудняет, но не исключает полностью применение таких способов уменьшения образования оксидов азота, которые основаны на снижении максимальных температур в топочной камере.

3) Способы, основанные на снижении избытка воздуха. Снижение концентрации кислорода в зоне горения топлива уменьшает образование как термических, так и топливных оксидов азота. Препятствием для широкого применения данного способа являются:

- появление продуктов химического недожога ( $CO$  также является опасным загрязнителем атмосферы);
- повышение содержания горючих в шлаке и уносе;
- усиление шлакования топочных экранов (так как восстановительная среда снижает температурные характеристики золы), а в ряде случаев – опасность высокотемпературной коррозии экранов.

Следует подчеркнуть, что на образование оксидов азота влияет не сам коэффициент избытка воздуха на выходе из топки  $\alpha_t$ , а количество именно того воздуха, который подается в топку вместе с топливом.

4) Специальные конструкции горелок. Практический эффект, достигаемый с помощью таких горелок, связан со снижением концентрации кислорода на начальном участке факела, где происходит воспламенение и горение летучих.

5) Метод предварительной термической обработки топлива. Исследования показали, что прогрев угольной пыли приводит к разрушению азотсодержащих компонентов топлива и к выходу вместе с летучими азотистых радикалов.

6) Восстановление оксидов азота в топочной камере. Этот метод снижения выбросов оксидов азота отличный от ранее рассмотренных тем, что он не снижает образование оксидов азота в факеле, а восстанавливает уже образовавшиеся оксиды азота.

7) Топки с кипящим слоем как метод снижения выбросов оксидов азота. Специальной организацией горения можно добиться интенсификации восстановительных реакций и значительного сокращения выбросов оксидов азота в атмосферу. Примером такой организации является топка с двухступенчатым кипящим слоем.

Метод, основанный на снижении избытка воздуха, был, в частности, применен на котле БКЗ-420-140 ПТ-2 ст. №4 Абаканской ТЭЦ.

Котел БКЗ-420-140-ПТ-2 Барнаульского котельного завода номинальной производительностью 420 т/ч, рассчитан на сжигание ирша-бородинского угля с твердым шлакоудалением.

Характеристики котла:

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. Паропроизводительность                | 420 т/ч                 |
| 2. Давление перегретого пара             | 140 кгс/см <sup>2</sup> |
| 3. Температура:                          |                         |
| перегретого пара                         | 560 °С                  |
| питательной воды                         | 230 °С                  |
| уходящих газов                           | 164 °С                  |
| горячего воздуха                         | 355 °С                  |
| 4. Избыток воздуха за пароперегревателем | 1,2                     |
| 5. Объем топочной камеры                 | 2660 м <sup>3</sup>     |
| 6. Расчетный К.П.Д. брутто               | 91,1 %                  |
| 7. Часовой расход топлива                | 72,017 т/ч              |

Котел вертикально-водотрубный, однокорпусный, с естественной циркуляцией, однокорпусной П-образной компоновки.

Топочная камера полуоткрытого типа выполнена из труб  $\varnothing 60 \times 6$  мм с шагом 80 мм (сталь 20), имеет размеры по осям труб 7500х14460 мм. В топочной камере установлено 12 прямооточных пылеугольных горелок и 4 воздушных сопел заднего дутья (СЗД) по тангенциальной схеме в два яруса с организацией двух вихрей. Ось нижнего яруса горелок расположена на отметке 11,38 м, верхнего на отметке 14,95 м, оси горелок направлены по касательной к воображаемой окружности  $\varnothing 800$  мм. Шесть горелок нижнего яруса оборудованы паромеханическими мазутными форсунками и запально-защитными устройствами. На нижних скатах холодной воронки установлены 19 сопел нижнего дутья (СНД).

Пароперегреватель радиационно-конвективного типа размещен в верхнем горизонтальном газоходе. В нисходящем газоходе расположены первая и вторая ступени водяного экономайзера и воздухоподогревателя.

Котел БКЗ-420-140 оборудован четырьмя системами пылеприготовления, прямого вдувания с газовой сушкой. Каждая пылесистема включает в себя: бункер сырого угля, скребковый питатель, молотковую мельницу ММТ с инерционным сепаратором и мельничный вентилятор.

Сушка угля осуществляется смесью топочных и уходящих газов с температурой перед мельницами не выше 600 °С. Топочные газы с температурой порядка 1000 °С отбираются в верхней части топки. Уходящие в пылесистемы газы и воздушные сопла заднего дутья подаются двумя дымососами газовой рециркуляции, расчетная величина рециркуляции уходящих газов составляет 20 %. При этом расчетная температура на выходе из зоны активного горения составляет 1265 °С, на срезе ширм – 1130 °С, перед конвективным пароперегревателем – 960 °С. Для обеспечения тягой и дутьем на котле установлены: два дутьевых вентилятора ДН-26ГМ и два дымососа ДН-26х2-0,62. Очистка дымовых газов за котлом осуществляется в электрофильтрах ЭГА-2-58-12-6-5.

Пуск котла был проведен в декабре 2003 года. В ходе пуско-наладочных работ и период последующей опытной эксплуатации в работе котла выявился ряд недостатков,

которые негативно повлияли на надежность его работы. Это, прежде всего, высокие температуры факела в пристенной области тыльного экрана, что приводило к его шлакованию. При этом содержание оксидов азота находилось на достаточно высоком уровне, составляющем 360–560 мг/нм<sup>3</sup> (при расчетном значении 320 мг/нм<sup>3</sup>).

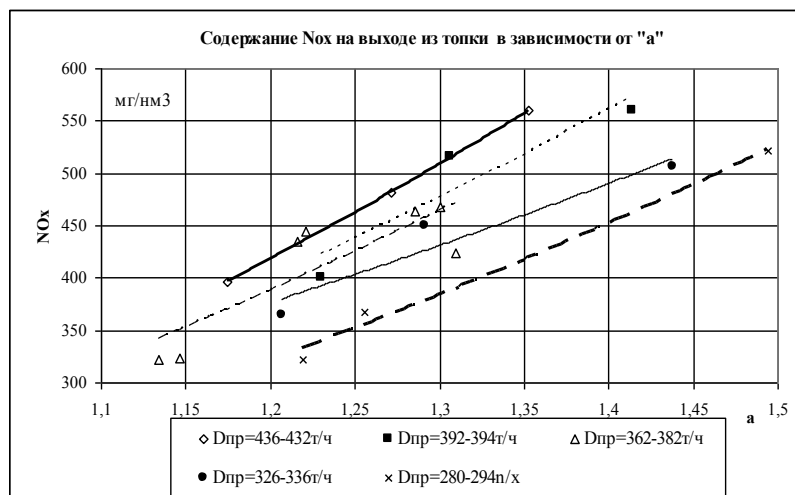


Рис. 1. Концентрация  $NO_x$  в зависимости от коэффициента избытка воздуха

Из рисунка 1 видно, что концентрации оксидов азота в выбросах находятся на уровне  $NO_x=322-560$  мг/нм<sup>3</sup>. При работе котла с коэффициентом избытка воздуха близким к оптимальному  $\alpha_{опт} \approx 1,20$ , концентрация оксидов азота находилась на уровне  $NO_x=320-400$  мг/нм<sup>3</sup> (расчетные  $NO_x^p=320$  мг/нм<sup>3</sup>). При повышении коэффициента избытка воздуха, концентрация оксидов азота увеличивается. Это связано с увеличением избытков воздуха в горелках, которые увеличиваются при повышении нагрузки.

При работе на низких нагрузках  $D_{пр} \approx 260-280$  т/ч, при коэффициенте избытка воздуха близком к оптимальному, концентрация оксидов азота составляет 320–360 мг/нм<sup>3</sup>. При этом эффект от работы СНД по снижению оксидов азота не наблюдается. В свою очередь, включение СНД на низких нагрузках приводит к повышению  $\alpha_t$  и соответственно увеличению  $q_2$ , что свидетельствует о необходимости ограничения подачи воздуха через СНД на низких нагрузках, завод рекомендует их отключение на нагрузках  $D_{пе} \leq 0,7D_{ном}$ .

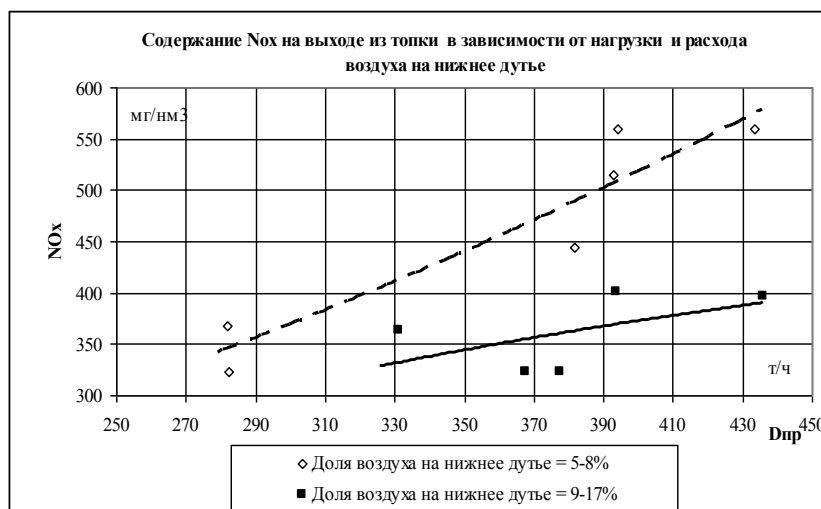


Рис. 2. Концентрация  $NO_x$  в зависимости от нагрузки и доли воздуха на СНД

Из рисунка 2 видно, что включение в работу СНД на номинальной нагрузке, при оптимальном коэффициенте избытка воздуха, позволяет снижать концентрацию оксидов азота с  $NO_x = 560 \text{ мг/нм}^3$  до  $NO_x = 400 \text{ мг/нм}^3$  при увеличении подачи воздуха  $q_{\text{снд}} = 5\text{--}8\%$  до  $q_{\text{снд}} = 17\%$ . На других нагрузках, при оптимальном коэффициенте избытка воздуха, включение в работу СНД, позволяет обеспечивать уровень оксидов азота в выбросах в пределах  $320\text{--}400 \text{ мг/нм}^3$ .

Включение в работу СНД на номинальной нагрузке, при оптимальном коэффициенте избытка воздуха, позволяет снижать концентрацию оксидов азота с  $NO_x = 560 \text{ мг/нм}^3$  до  $NO_x = 400 \text{ мг/нм}^3$  при увеличении подачи воздуха  $q_{\text{снд}} = 5\text{--}8\%$  до  $q_{\text{снд}} = 17\%$ . На других нагрузках, при оптимальном коэффициенте избытка воздуха, включение в работу СНД, позволяет обеспечивать уровень оксидов азота в выбросах на уровне  $320\text{--}400 \text{ мг/нм}^3$ .

Для устранения выявленных недостатков на котле были проведены реконструктивные мероприятия:

1. Установлены пыледелители на пылесистемах 4А, 4Г;
2. Произведена перетрассировка пылепроводов к горелкам 5, 6 и 7, 8 с одновременным их перебросом от горелок нижнего яруса на верхний.

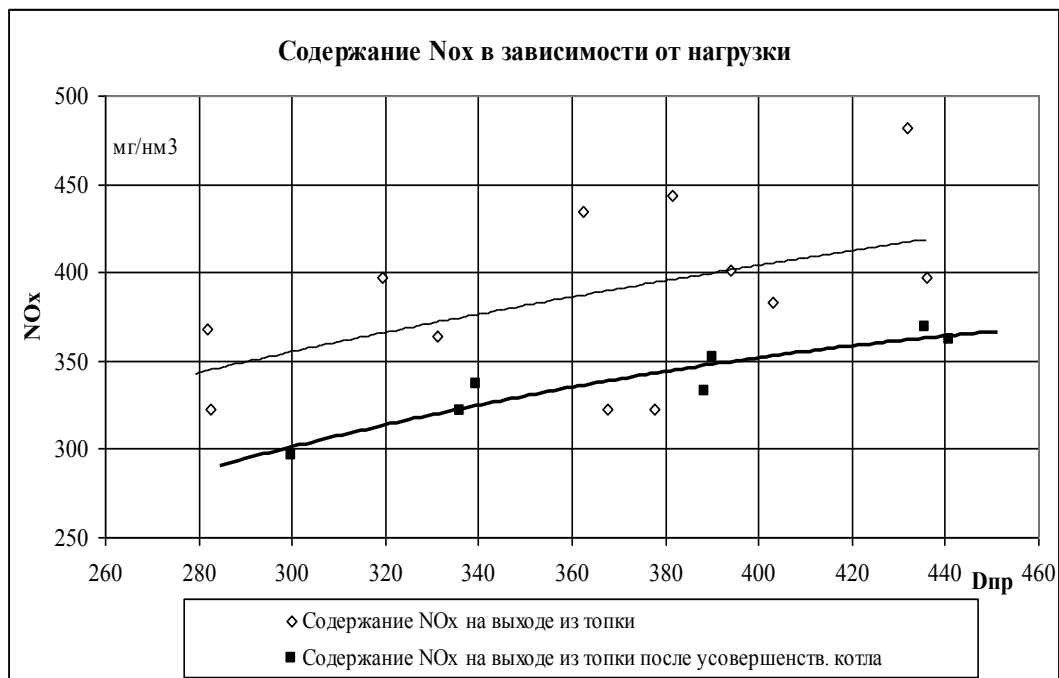


Рис. 3. Содержание  $NO_x$  в выбросах в зависимости от нагрузки

На рисунке 3 представлены зависимости концентрации оксидов азота (приведенные к  $\alpha''_{yx} = 1,4$ ) при коэффициентах избытка воздуха близких к оптимальным от паропроизводительности котла.

Видно, что концентрации оксидов азота в выбросах находятся на уровне  $300\text{--}370 \text{ мг/нм}^3$ . Из рисунка также следует, что после усовершенствования котла и его работе на пониженных коэффициентах избытка воздуха, концентрация оксидов азота уменьшилась. Это связано со снижением коэффициента избытка воздуха в горелках.

Достоинством приведенного способа является отсутствие дополнительных капитальных затрат, однако экономичность топочного процесса обычно ухудшается: снижение избытка воздуха во всех работающих горелках приводит к некоторому росту потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива.